

ЭЛЕКТРОВЗРЫВНОЕ НАУГЛЕРОЖИВАНИЕ И БОРОТИТАНИРОВАНИЕ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ6 И ПОСЛЕДУЮЩАЯ ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВАЯ ОБРАБОТКА

Райков С.В., Ващук Е.С., Соскова Н.А., Будовских Е.А., Громов В.Е.

Руководитель – профессор, д.ф.-м.н. Громов В.Е.

Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк
e-mail: budovskih_ea@physics.sibsiu.ru

С развитием новой техники совершенствуются методы и способы формирования композиционных материалов и покрытий. Перспективным методом формирования покрытий промежуточного типа является электровзрывное легирование (ЭВЛ) и электронно-пучковая обработка (ЭПО). Целью работы явилось выявление закономерностей эволюции структуры поверхностного слоя титанового сплава ВТ6, подвергнутого двойной обработке, сочетающей ЭВЛ и ЭПО.

Исследования фазового состава и дефектной субструктуры легированного слоя осуществляли методами сканирующей и просвечивающей электронной дифракционной микроскопии тонких фольг. В качестве объекта исследования использовали образцы титанового сплава ВТ6, подвергнутого электровзрывному науглероживанию и боротитанированию, облученные электронным пучком по режиму: 45 Дж/см², 200 мкс, 20 имп., 0,3 с⁻¹. Режим электровзрывного легирования образцов технически чистого титана ВТ1-0: поглощаемая плотность мощности 5,5 ГВт/м² (зарядное напряжение 2,2 кВ), диаметр сопла 20 мм, расстояние образца от среза сопла 20 мм, масса углеграфитовых волокон 70 мг, масса порошковой навески 50 мг. Исследования структурно-фазового состояния выбранных образцов осуществляли в двух сечениях, расположенных на глубине (~10) мкм и на глубине ~40 мкм.

На рис. 1 приведено электронно-микроскопическое изображение структуры поперечного шлифа образца титанового сплава ВТ6, подвергнутого электровзрывному легированию и последующей электронно-пучковой обработке. Анализируя структуру поперечных шлифов данного образца, можно отметить, что первое из выбранных сечений соответствует объему материала, обладающему сравнительно высокодисперсной структурой глобулярного типа (рис. 1, сечение 1). Второе выбранное сечение располагается в переходном слое на границе раздела слоев жидкофазного и твердофазного легирования материала и обладает структурой глобулярного типа со стороны покрытия и пластинчатой структурой – со стороны объема образца (рис. 1, сечение 2).

В объеме зерен и ячеек кристаллизации выявляется пластинчатая субструктура (рис. 1). Поперечные размеры пластин изменяются в пределах от 15 до 30 нм; продольные – от 100 до 350 нм и ограничены размерами (200...350 нм) зеренно-субзеренной структуры (рис. 1).

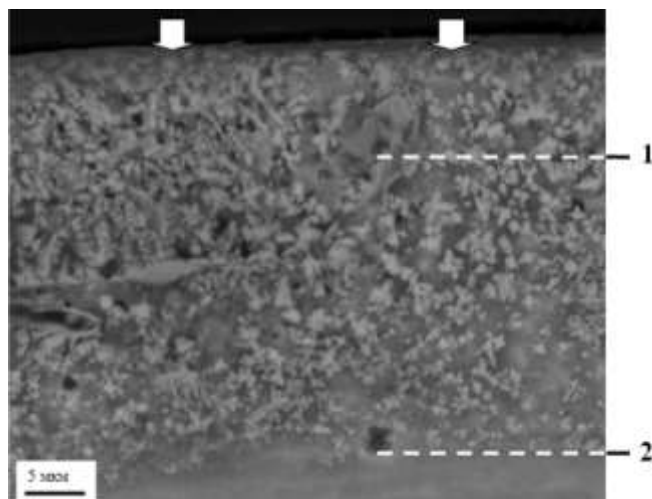


Рис. 1. Электронно-микроскопическое изображение структуры поперечного сечения титанового сплава ВТ6, подвергнутого электровзрывному науглероживанию с навеской порошка диборида титана и последующей электронно-пучковой обработке по режиму: 45 Дж/см², 200 мкс, 20 имп., 0,3 с⁻¹. Стрелками указана поверхность модификации; цифрами 1 и 2 обозначено положение в образце пластинок, из которых готовились фольги для анализа структурно-фазового состояния методами просвечивающей дифракционной электронной микроскопии

Исследования слоя, расположенного на глубине ~10 мкм, выполненные методами просвечивающей электронной дифракционной микроскопии тонких фольг, выявили зеренно-субзеренную структуру. Размеры субзерен изменяются в пределах от 200 до 350 нм, что близко к размерам ячеек высокоскоростной кристаллизации, обнаруженных на поверхности облучения методами сканирующей электронной микроскопии. По границам и в стыках границ ячеек кристаллизации и зерен располагаются частицы второй фазы преимущественно глобулярной формы. Размеры частиц изменяются в пределах от 60 до 110 нм.

Анализ фазового состава исследуемого слоя осуществляли путем индирования микроэлектронограмм. На микроэлектронограммах, полученных с зеренно-субзеренной структуры, как правило, наиболее яркими являются рефлексы, принадлежащие кристаллической решетке α -титана. Индирование микроэлектронограмм, полученных с частиц глобулярной морфологии, выявило, наряду с рефлексами α -титана, рефлексы карбида титана TiC (рис. 2). Следовательно, частицы глобулярной морфологии являются карбидом титана.

Наряду с рефлексами карбидной фазы на микроэлектронограммах, полученных с исследуемого слоя, выявляются рефлексы борида титана

состава TiB (рис. 3). На темнопольных изображениях структуры, получаемых в рефлексе борида титана, выявляются частицы округлой формы, размеры которых изменяются в пределах от 15 до 30 нм (рис. 8.44, в; частицы указаны стрелками). Частицы борида титана располагаются преимущественно вдоль границ ячеек кристаллизации α -титана частиц карбида титана.

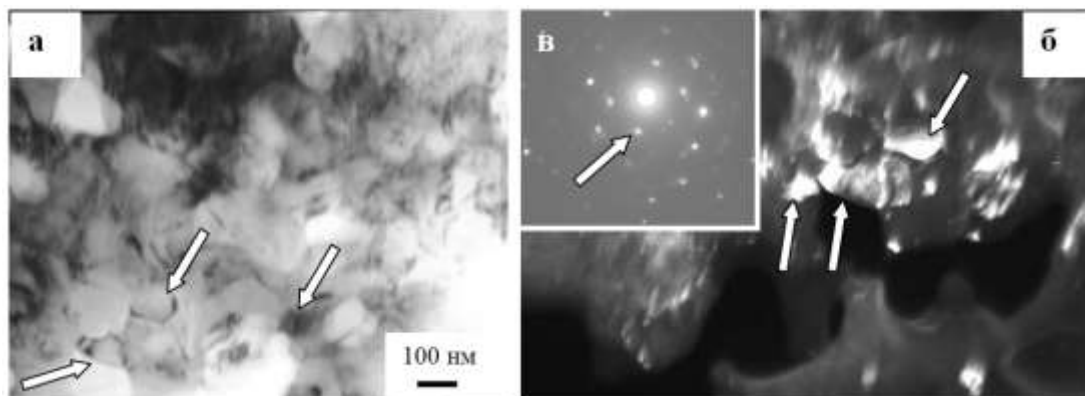


Рис. 2. Электронно-микроскопическое изображение структуры сплава ВТ6 после ЭВЛ и ЭПО. Слой, расположенный на глубине ~ 10 мкм; а – светлое поле; б – темное поле, полученное в рефлексах $[111]\text{TiC} + [100]\alpha\text{-Ti}$; в – микроэлектронограмма, стрелкой указаны рефлексы, в которых получено темное поле

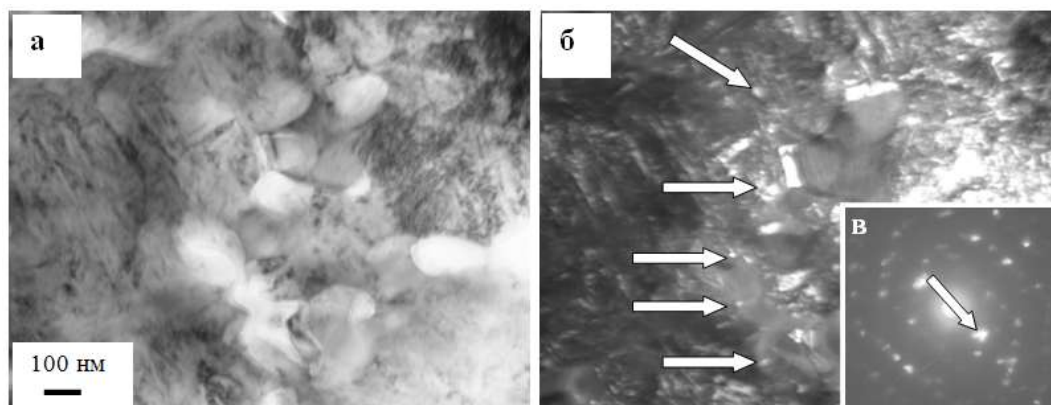


Рис. 3. Электронно-микроскопическое изображение структуры сплава ВТ6 после ЭВЛ и ЭПО. Слой, расположенный на глубине ~ 10 мкм; а – светлое поле; б – темное поле, полученное в рефлексах $[100]\alpha\text{-Ti} + [002]\alpha\text{-Ti} + [101]\alpha\text{-Ti} + [110]\beta\text{-Ti} + [002]\text{TiB}$; в – микроэлектронограмма, стрелкой указаны рефлексы, в которых получено темное поле

Работа выполнена при поддержке Работа выполнена при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. (гос. контракт № 14.740.11.0813), грантами РФФИ (проекты № 11-02-91150-ГФЕН-а, № 11-02-12091-офи-м-2011) и госзадания Минобрнауки №2.4807.2011.